

dr inż. WOJCIECH TUCHOWSKI

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Kontakt: Wojciech.Tuchowski@zut.edu.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0009.8782

Bezpieczeństwo eksploatacji pomp ciepła i urządzeń chłodniczych – w odniesieniu do operatorów i osób postronnych

Fot. Kritsana Maimetook/Bigstockphoto



Artykuł stanowi kontynuację tematyki eksploatacji urządzeń chłodniczych i pomp ciepła, podjętej w „Bezpieczeństwie Pracy” nr 3/2017. Przedstawiono w nim procedurę wykrywania nieszczelności oraz odzysku czynnika chłodniczego w instalacji chłodniczej oraz klimatyzacyjnej za pomocą urządzeń do tego przeznaczonych. Wskazano możliwości ograniczenia emisji czynników chłodniczych oraz zmniejszenia wielkości wskaźnika TEWI dla analizowanej instalacji wodnej pompy ciepła. Oszacowano również wartość wskaźnika TEWI dla różnych wielkości współczynnika emisyjności β [kgCO_2/kWh].

Słowa kluczowe: nieszczelność instalacji, wskaźnik TEWI, czynnik chłodniczy, pompa ciepła

Safety of exploitation of heat pumps and refrigeration devices – in regard of its operators and the environment

The article is a continuation of the problem of exploitation of refrigeration and heat pumps. In the second part of the article shows the procedure leak detection and recovery of refrigerant in a refrigeration system and the air conditioning using devices designed for this purpose. Identified opportunities to reduce emissions of refrigerants and reduce the size of the index TEWI analyzed for water source heat pump system. It estimated the value of the TEWI index for different sizes emissivity factor β [kgCO_2/kWh].

Keywords: installation leak, TEWI index, refrigerant, heat pump

Wstęp

W pierwszej części artykułu („BP” 3/2017, s. 18-22) przedstawiono opis wielkości definiujących wpływ czynników chłodniczych na środowisko naturalne. Wszystkie omówione aspekty mają wpływ na wielkość wskaźnika TEWI danego urządzenia. Ograniczenie choćby jednej ze składowych bezpośrednio przekłada się na obniżenie emisji dwutlenku węgla oraz gazów cieplarnianych do atmosfery. Dodatkowo może

również przyczynić się do podniesienia efektywności energetycznej urządzenia oraz obniżyć koszty eksploatacji.

Osoby na nie ekspozowane mogą doznawać ostrych bóli i zawrotów głowy, omdleń, a nawet ponieść śmierć w wyniku uduszenia. Zarówno naturalne, jak i syntetyczne czynniki chłodnicze wykazują działania niepożądane w kontakcie z organizmem ludzkim. Celem artykułu jest także opis właściwego sposobu przeprowadzania

przeглядów instalacji chłodniczych i pomp ciepła, niebezpieczeństw z tym związanych i sposobów zapobiegania im.

Przeгляdy instalacji chłodniczych i pomp ciepła

Regularny przegląd instalacji chłodniczej i pompy ciepła jest jednym z działań, które pomagają w zapobieganiu wzrostowi emisji czynnika chłodniczego do atmosfery. Kontrole serwisowe pozwalają wykryć ewentualne nieszczelności oraz wadliwą pracę instalacji mogącą przyczynić się do zwiększenia zużycia energii elektrycznej, a więc do wzrostu wartości wskaźnika TEWI¹.

Procedura kontroli instalacji polega w pierwszym etapie na wzrokowej ocenie wszystkich połączeń przewodów cieczowych i gazowych pod względem występujących na nich plam oleju chłodniczego. Olej chłodniczy dostaje się do obiegu ze sprężarki, która sprężając pary czynnika częściowo miesza je z olejem smarowym. Olej dobrany jest tak, aby tworzył mieszaninę z czynnikiem chłodniczym. Z tego powodu jego plamy zazwyczaj występują w miejscach, w których dochodzi do rozszczelnienia.

Dokładniejsza metoda wykrywania nieszczelności polega na użyciu detektorów elektronicznych lub ultradźwiękowych o wymaganej ustawowo klasie dokładności pomiaru. Wprowadzenie w naszym kraju ustawy F-gazowej nakłada obowiązek – na osoby fizyczne lub firmy zajmujące się urządzeniami zawierającymi gazy cieplarniane – kontroli czułości przenośnymi wykrywaczami nieszczelności.

Pozytywny wynik kontroli upoważnia do otrzymania zaświadczenia o spełnieniu wymogów zawartych w rozporządzeniu Komisji WE NR 1516/2007 z 19 grudnia 2007 r., ustanawiającym zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 842/2006 Parlamentu Europejskiego standardowe wymogi w zakresie kontroli szczelności

¹ Wskaźnik TEWI (*Total Equivalent Warming Impact*) – całkowity równoważny wskaźnik tworzenia efektu cieplarnianego.

stacjonarnych urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych oraz pomp ciepła zawierających niektóre fluorowane gazy cieplarniane. Zgodnie z tym rozporządzeniem detektor powinien wykrywać wyciek czynnika w ilości minimum 5 gramów rocznie, a kontrola czułości musi odbywać się co 12 miesięcy [1].

Odzysku czynnika chłodniczego dokonuje się w sytuacji, kiedy mamy do czynienia z jego wymianą na proekologiczny zamiennik lub w razie konieczności naprawy instalacji. Każdorazowo należy przy tym używać zestawu do odzysku czynnika chłodniczego (przykładowy zestaw na fot.).

W skład zestawu wchodzi: stacja do odzysku czynnika chłodniczego wyposażona w sprężarkę chłodniczą, pompę próżniową oraz manometry; butla czynnika chłodniczego; zestaw manometrów i przewodów elastycznych z zaworami odcinającymi oraz waga do czynnika chłodniczego o wymaganej dokładności.

W przypadku wykrycia nieszczelności instalacji należy odzyskać pozostałą ilość czynnika chłodniczego, przelatując go do butli za pomocą stacji do odzysku. Następnie trzeba ocenić ilość odzyskanego czynnika, aby określić wielkość wycieku. Kolejnym krokiem jest likwidacja nieszczelności oraz sprawdzenie jakości przeprowadzonych prac naprawczych. W tym celu uzupełnia się instalację azotem (używany jest również argon lub suche powietrze). Pod odpowiednim, wymaganym co do wielkości instalacji, ciśnieniem powinno się odczekać 24 h (przy nowych oprawach zaworowych można ten czas skrócić do ok. 6 godzin). Jeżeli po tym czasie nie nastąpi większy niż 1,5% spadek ciśnienia wartości nastawionej, uważa się instalację za szczelną.



Fot. Zestaw do odzysku czynnika chłodniczego
Photo. Set for refrigerant recovery

Tabela 1. Wartość wskaźnika TEWI w odniesieniu do różnych wartości wskaźnika emisji β [5]
Table 1. Value of TEWI index in relation to the different values of the emission factor β [5]

	Wskaźnik emisyjności – β [4]	R 404A	R 407C	R 410A	R 600a
Kraj	[kgCO ₂ /kWh]	TEWI [ton]	TEWI [ton]	TEWI [ton]	TEWI [ton]
Polska	0,963	1065,14	791,24	839,09	527,74
Tasmania [3]	0,30	702,15	428,25	476,1	164,75
Południowa Australia [3]	0,680	910,2	636,3	684,15	372,8
Niemcy	0,624	879,54	605,64	653,49	342,14
Francja	0,056	568,56	294,66	344,15	32,16
Holandia	0,435	776,06	502,16	550,01	238,66
Litwa	0,153	621,67	347,77	395,62	84,26
Belgia	0,285	693,94	420,04	467,89	156,53
Szwecja	0,023	550,49	276,59	324,44	13,09
Słowenia	0,557	842,86	568,96	616,81	305,45
UE -27	0,460	789,75	515,85	563,7	252,35

Tabela 2. Klasyfikacja czynników chłodniczych pod względem palności [7]
Table 2. The classification of refrigerants in terms of flammability [7]

Grupa	Charakterystyka
1	Czynniki chłodnicze niepalne w postaci pary przy dowolnym stężeniu w powietrzu
2	Czynniki chłodnicze, których dolna granica palności jest równa 3,5% objętości w powietrzu (V/V) lub wyższa, gdy tworzą one mieszaninę z powietrzem
3	Czynniki chłodnicze, których dolna granica palności jest niższa niż 3,5% objętości w powietrzu (V/V), gdy tworzą one mieszaninę z powietrzem

Tabela 3. Klasyfikacja czynników chłodniczych pod względem toksyczności [7]
Table 3. The classification of refrigerants in terms of toxicity [7]

Grupa	Charakterystyka
A	Czynniki chłodnicze niemające szkodliwego wpływu na większość pracowników, którzy mogą być narażeni na ich działania codzienne, w ciągu 8-godzinnego dnia pracy i 40-godzinnego tygodnia pracy, przy średnim, ważonym względem czasu, stężeniu równym 400 ml/m ³ lub powyżej
B	Czynniki chłodnicze niemające szkodliwego wpływu na większość pracowników, którzy mogą być narażeni na ich działania codzienne, w ciągu 8-godzinnego dnia pracy i 40-godzinnego tygodnia pracy, przy średnim, ważonym względem czasu, stężeniu poniżej 400 ml/m ³

Uwaga: W pewnych warunkach na skutek zetknięcia się czynnika chłodniczego z płomieniem lub gorącą powierzchnią mogą powstać toksyczne produkty jego rozkładu. Głównymi produktami rozkładu czynników chłodniczych grupy L1 (A1), z wyjątkiem dwutlenku węgla, są kwas chlorowodorowy i kwas fluorowodorowy. Produkty te, jakkolwiek toksyczne w małym stężeniu, ostrzegają automatycznie i wyraźnie o swojej obecności nadzwyczaj drażniącą wonią.

Możliwości ograniczenia wartości wskaźnika TEWI

Przeglądów i serwisu urządzeń chłodniczych i pomp ciepła mogą dokonywać jedynie osoby fizyczne, posiadające uprawnienia F-gazowe zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem [2]. Udział składowej odzysku czynnika chłodniczego w końcowej wartości wskaźnika TEWI podyktowany jest niedokładnością samego procesu odzysku. W rzeczywistości niemożliwe jest odzyskanie takiej samej ilości substancji, jaką napełniło się układ.

Trzecia składowa wskaźnika TEWI dotyczy nakładów energetycznych potrzebnych do pracy urządzeń. Jest to procentowo największy wkład, ponieważ jest determinowany pośrednio przez efektywność energetyczną urządzeń chłodniczych i pomp ciepła, a bezpośrednio przez wskaźnik emisji CO₂ podczas produkcji energii β (kg/kWh).

Wskaźnik efektywności energetycznej COP (współczynnik efektywności) to informacja dotycząca działania urządzeń chłodniczych i pomp ciepła. Definiowany jest jako iloraz efektu użytecznego (ciepło do ogrzewania lub

ciepło odebrane z obiektu) do nakładów energetycznych. Analizując zatem pompę ciepła, im wyższa wartość wskaźnika COP, tym urządzenie dostarcza więcej ciepła za niższą cenę. Wzór na obliczenie wskaźnika COP to:

$$COP = \frac{Q_g(Q_{ch})}{N}$$

gdzie:

Q_g – wytworzone ciepło na cele grzewcze (wydajność grzewcza), w odniesieniu do pomp ciepła
 Q_{ch} – ciepło odebrane z obiektu schładzanego (wydajność chłodnicza), w odniesieniu do urządzeń chłodniczych

N – zużycie energii elektrycznej (lub ciepła) do napędu sprężarki (lub silnika cieplnego, np. gazowego).

Zwiększając w ogólnym bilansie energetycznym wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, wpłyniemy na zmniejszenie wskaźnika emisji β (kgCO₂/kWh) podczas produkcji energii. Wskutek takich działań możliwe jest obniżenie kosztów wytwarzania energii elektrycznej, a tym samym zminimalizowanie wpływu m.in. urządzeń grzewczych na degradację środowiska.

W tab. 1. przedstawiono wartości wskaźnika TEWI odniesione do analizowanej w pierwszej części artykułu wodnej pompy ciepła w zależności od wskaźnika emisji β . Wartość wskaźnika emisji odpowiada emisji 1 kg CO₂ do atmosfery na każdą wyprodukowaną kWh energii elektrycznej [3,4]. Widoczne obniżenie emisji CO₂ poprawi ekonomiczną i ekologiczną opłacalność budowy takich urządzeń, jak pompy ciepła. Biorąc pod uwagę fakt wprowadzania do chłodnictwa nowych proekologicznych czynników chłodniczych o niskim potencjale GWP, energia elektryczna produkowana w elektrowni atomowej lub na bazie OZE² wydaje się być kluczem do zmniejszenia całkowitego równoważnego wskaźnika tworzenia efektu cieplarnianego TEWI.

Niebezpieczeństwa związane z eksploatacją urządzeń zawierających czynniki chłodnicze

Czynniki chłodnicze wykorzystywane w urządzeniach chłodniczych i pompach ciepła mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia zarówno ludzi postronnych, jak i operatorów. Operatorem określa się osobę fizyczną bądź prawną, sprawującą faktyczną kontrolę nad technicznym działaniem produktów i urządzeń zawierających F-gazy [6]. W PN-EN 378 substancje te zostały sklasyfikowane pod względem ich palności i toksyczności (tab. 2., 3.)

Na podstawie palności i toksyczności czynników chłodniczych ustalono 6 grup bezpieczeństwa tych substancji oraz 3 grupy „L”, które opisują ogólny ich wpływ na bezpośrednie otoczenie. (tab. 4., 5.)

Przykładowe czynniki chłodnicze zakwalifikowane do grup bezpieczeństwa „L” wymieniono w tab. 6.

Pomieszczenia, w których usytuowane są urządzenia zawierające czynniki chłodnicze podzielono na 3 klasy: A – ogólnodostępne, B – nadzorowane, C – pomieszczenie z kontrolowanym dostępem.

PN-EN 378-2 zawiera załącznik D: Wykaz zagrożeń znaczących, w którym zawarto informacje dotyczące niebezpieczeństw, na jakie narażane są osoby pracujące przy instalacjach chłodniczych (tab. 7.). Zostały one określone na podstawie oceny ryzyka (zgodnie z EN 1050:1996) jako znaczące dla danego rodzaju maszyn i wymagające określonych działań w celu wyeliminowania lub ograniczenia ryzyka. Instalacje chłodnicze i ich wyposażenie powinny być wytwarzane zgodnie z zasadami wymienionymi w EN ISO 12100-2:2003.

W rozporządzeniu unijnym dotyczącym F-gazów nie ma wytycznych dotyczących bezpiecznego użytkowania, serwisowania oraz montażu urządzeń zawierających te substancje. Operator powinien jednak wykazywać się zdrowym rozsądkiem, a dodatkowo posiadać ważne uprawnienia F-gazowe (i/lub uprawnienia SZWO³) wydane przez Urząd Dozoru Technicznego. Instalatorzy

² OZE – odnawialne źródła energii.

³ Uprawnienia SZWO – uprawnienia upoważniające do obsługi, montażu, konserwacji urządzeń chłodniczych i pomp ciepła zawierających Substancje Zubożające Warstwę Ozonową oraz do obrotu tymi substancjami.

Tabela 4. Grupy bezpieczeństwa czynników chłodniczych [7]

Table 4. Security group of refrigerants [7]

Palność	Grupy bezpieczeństwa (A – niższa toksyczność, B – wyższa toksyczność)	
Wyższa palność	A3	B3
Niższa palność	A2	B2
Niepalność	A1	B1

Tabela 5. Podział czynników chłodniczych pod względem ich oddziaływania na bezpośrednie otoczenie [7]

Table 5. The division of refrigerants in terms of their impact on the immediate environment [7]

Grupa	Grupa bezpieczeństwa	Charakterystyka
L1	A1	Czynniki niepalne, nieszkodliwe dla zdrowia
L2	A2, B1, B2	Czynniki palne przy stężeniu $\geq 3,5\%$ obj. w powietrzu i/lub toksyczne
L3	A3, B3	Czynniki palne lub wybuchowe przy stężeniu poniżej 3,5% obj. w powietrzu

Tabela 6. Klasyfikacje wybranych czynników chłodniczych [8,9]

Table 6. Classification of selected refrigerants [8, 9]

	L1	L2	L3
R12	R134a	R30	R170
R22	R404A	R123	R290
R23	R407A	R141b	R600
R113	R502	R611	R1150
R124	R500	R717	R1270
R744	R718	R723	R600a
R410A	R407C	R152a	
R227ea			

Tabela 7. Wykaz niektórych zagrożeń na jakie narażony jest personel obsługujący instalacje chłodnicze

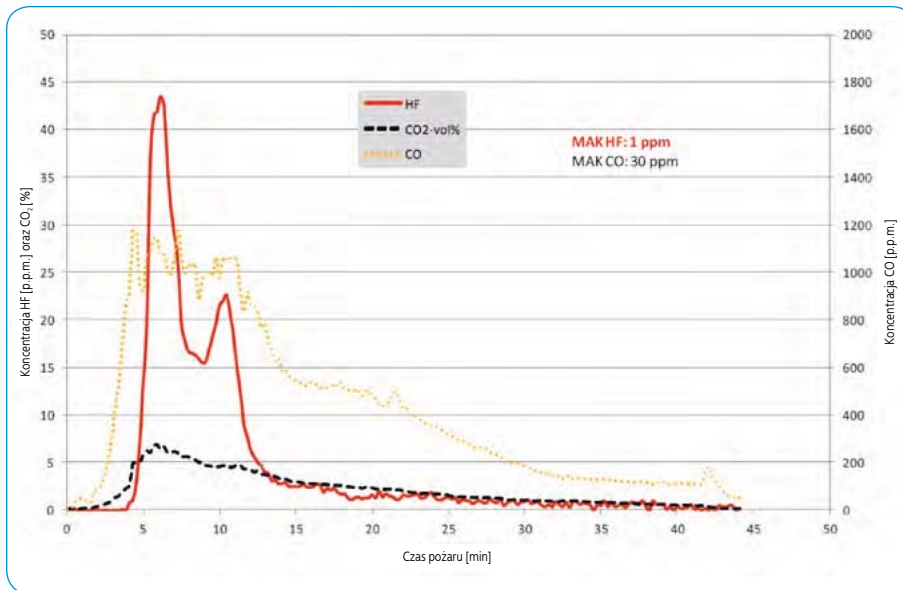
Table 7. List of some of the risks encountered by maintenance personnel of refrigeration systems

Nr wg EN 1050	Zagrożenie, sytuacja zagrażająca i zdarzenia zagrażające	Opis sytuacji lub zdarzenia zgodnie z EN 378-2:2008
1.3	Zagrożenie raną ciętą lub odcięciem kończyny	Ryzyko zetknięcia się z częściami ruchomymi maszyn (wentylatory, wirniki, wały sprzężarek otwartych)
1.9	Zagrożenie wtryskiem lub wtryskiem cieczy pod wysokim ciśnieniem	Ryzyko rozszczelnienia instalacji po stronie wysokiego ciśnienia (ciśnienie na stronie tłocznej sprzężarki w niektórych urządzeniach przekracza 20 bar, a temperatura gazu na końcu sprzężania przekracza 100 °C, np. dla czynnika R 410A)
2.1	Dotknięcie przez człowieka części będących pod napięciem (dotyk bezpośredni)	Ryzyko porażenia prądem od niezabezpieczonych przewodów elektrycznych
2.2	Dotknięcie przez człowieka części będących pod napięciem w wyniku uszkodzenia (dotyk pośredni)	Ryzyko zwarcia w instalacji zasilającej części ruchome (sprężarkę, wentylatory)
2.5	Promieniowanie cieplne, lub inne zjawiska, takie jak: wyrzucanie roztopionych cząstek, skutki chemiczne zwarcie w obwodach elektrycznych, przeciążenia itp.	Ryzyko zetknięcia się z gorącymi powierzchniami (temperatura powierzchni), które mogą się zetknąć z wydostającym się czynnikiem chłodniczym z grup A2, A3, B2 lub B3 nie powinna przekraczać temperatury zapłonu tego czynnika pomniejszonej o 100 K
3.1	Zagrożenia termiczne mogące powodować: oparzenia i inne urazy spowodowane kontaktem człowieka z obiektami lub materiałami o bardzo wysokiej lub bardzo niskiej temperaturze, płomieniem lub wybuchem, a także na promieniowanie źródeł ciepła	Ryzyko gromadzenia się uwalniającego czynnika chłodniczego w sposób stwarzający zagrożenie pożarem lub wybuchem w obrębie instalacji, w miejscach, gdzie zainstalowane są elementy elektryczne, które mogłyby być źródłem zapłonu i działać w warunkach przecieku
7.1	Kontakt ze szkodliwymi cieczami, gazami, mgłami, parami i pyłami lub ich wdychanie	Ryzyko narażenia osób przebywających w obrębie instalacji podczas wycieku na toksyczne działanie niektórych czynników chłodniczych
7.2	Pożar lub wybuch	Ryzyko wystąpienia pożaru lub wybuchu czynnika chłodniczego w rezultacie przekroczenia dopuszczalnego stężenia w powietrzu

pomp ciepła powinni mieć certyfikat kwalifikacji w zakresie OZE, wydawany również przez UDT [6].

Wskazane w tab. 7. sytuacje są najczęściej występującymi zagrożeniami, na które narażony jest personel obsługujący urządzenia zawierające F-gazy, przy czym narażenia na wdychanie lub kontakt ze skórą tych substancji występuje w znakomitej większości przypadków. Podczas

wystąpienia awarii ważna, z punktu widzenia operatora, jest wiedza na temat czynnika chłodniczego, jakim napełnione jest urządzenie, jego ilości oraz przeznaczenia instalacji. Pozwala to na zabezpieczenie personelu przed działaniem żrącym oraz toksycznym czynnikiem, produktów ich rozkładu termicznego oraz produktów, które powstają w wyniku ich kontaktu np. z wodą.



Rys. Stężenie gazów spalinych podczas pożaru samochodu osobowego zawierającego 372 g czynnika chłodniczego R 1234yf w systemie klimatyzacji [13]

Fig. The concentration of exhaust gases in a fire car containing 372 g of refrigerant R 1234yf in air conditioning system [13]

Popularne czynniki chłodnicze i ich wpływ na organizm człowieka

R 1234yf – syntetyczny czynnik chłodniczy, wprowadzony na terenie Unii Europejskiej jako zamiennik R 134a w klimatyzacji samochodowej. Obok korzystnych wskaźników środowiskowych (GWP = 4), czynnik ten wzbudza jednak wiele kontrowersji, dotyczących głównie jego wpływu na organizm człowieka. Pierwsze badania na ten temat przeprowadzali w 2012 r. inżynierowie koncernu Daimler. Początkowo rozpryskiwali oni czynnik R 1234yf (jego temperatura samozapłonu wynosi 405 °C) na rozgrzany silnik samochodu [10]. Substancja od razu zapaliła się. Następnie badali zachowanie się instalacji klimatyzacyjnej z nowym czynnikiem podczas symulowanych zderzeń [11,12]. W ich wyniku czynnik chłodniczy uległ zapalaniu, po czym w kontakcie z wodą gaśniczą przekształcił się w toksyczny kwas fluorowodorowy.

Niemieckie Stowarzyszenie na rzecz Ochrony Środowiska (Deutsche Umwelthilfe – DUH) zleciło ekspertom z zakresu ochrony przeciwpożarowej przeprowadzenie testu bezpieczeństwa pożarowego samochodu zawierającego w systemie klimatyzacji czynnik chłodniczy R 1234yf. Celem tego testu było określenie potencjału zagrożenia tworzenia się fluorowodoru (HF) podczas pożaru pojazdu. Badania przeprowadzono w tunelu modelowym w którym symulowano warunki dla tunelu drogowego o powierzchni przekroju 10 m² i prędkości wiatru omywającego auto z prędkością 1,5 m/s, co w rezultacie odpowiadało objętościowemu przepływowi powietrza rzędu 54,000 m³/h [13].

Po inicjacji pożaru auta (zawierającego 372 g R 1234yf w systemie klimatyzacji) badano stężenie gazów spalinych w tunelu bezpośrednio za pojazdem. Spaleni uległ również system klimatyzacji, co doprowadziło do uwolnienia się R 1234yf do otoczenia i jego bezpośredniego kon-

taktu z płomieniem. W początkowej fazie pożaru (po upływie ok. 2 min) nastąpił wzrost stężenia CO (tlenku węgla), natomiast po upływie 4 min zaobserwowano gwałtowny wzrost stężenia HF (fluorowodoru), (rys.).

Stężenie HF wzrosło po 4 minutach do 43 p.p.m., a w okresie od 5 do 15 minut średnie jego stężenie wynosiło 17 p.p.m.

Według NIOSH (Narodowego Instytutu Bezpieczeństwa i Higieny Pracy USA) wartość IDLH (stężenie substancji w powietrzu mającej bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo dla życia lub zdrowia) dla HF wynosi 25 mg/m³, czyli 30 p.p.m. Zakłada się, że ekspozycja na HF w stężeniu równym bądź przekraczającym 42 mg/m³ (50 p.p.m.) przez ponad 30 minut może być śmiertelna dla człowieka [13]. Zgodnie z załącznikiem nr 1 do rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS), w zależności od czasu narażenia w ciągu zmiany roboczej, w odniesieniu do fluorowodoru wynosi 0,5 mg/m³, czyli ok. 0,6 p.p.m.

W przypadku wystąpienia pożaru auta z klimatyzacją z R 1234yf (substancja ta wykorzystywana jest w klimatyzacji wielu modeli aut na terenie UE) nie należy gasić go na własną rękę, tylko wezwać straż pożarną i oddalić się z miejsca pożaru. Straż musi zostać poinformowana, z jakim czynnikiem ma do czynienia i podczas gaszenia wyposażać się w aparat do oddychania i specjalny strój chroniący ciało przed wpływem kwasu fluorowodorowego.

Czysty gaz R 1234yf wykazuje również działanie toksyczne na organizm człowieka. W karcie charakterystyki R 1234yf można znaleźć informacje na temat niepożądanych skutków jego działania: „W niskich stężeniach może powodować efekty narkotyczne. Objawy mogą obejmować zawroty głowy, bóle głowy, nudności oraz utratę

koordynacji. W wysokich stężeniach może spowodować uduszenie. Objawy obejmują utratę zdolności ruchowych/przytomności. Ofiara może nie być świadoma, że się dusi” [14].

Na rynku dostępny jest również czynnik chłodniczy z grupy fluoro-olefin, R 1234ze. Jest to izomer czynnika R 1234yf, różni się od niego strukturą i tak samo jak on posiada niski wskaźnik GWP = 6. Nie ma informacji na temat toksyczności tej substancji, należy on jednak do tej samej grupy palności A2L. W karcie charakterystyki znajdziemy informacje, że w razie wycieku należy zapewnić odpowiednią wentylację oraz stosować środki ochrony indywidualnej – izolujące aparaty oddechowe i odzież ochronną, odporną na chemikalia. Osoby niezabezpieczone powinny oddalić się z miejsca wycieku. Pary tych substancji są cięższe od powietrza, w związku z czym wypierają je z pomieszczenia, co może doprowadzić do uduszenia.

R 22 i jego zamienniki – czynnik chłodniczy R 22 został wycofany z użycia na terenie UE z początkiem 2010 r. zgodnie z rozporządzeniem PEIR nr 1005/2009; nie wolno go również stosować na terenie USA. Niemniej jednak nie ma ograniczeń prawnych terminu eksploatacji instalacji zawierających R 22 (i inne HCFC⁴). Zabronione jest ich dopełnianie czynnikami z grupy HCFC po 31.12.2014 r. Sprawne i szczelne urządzenia będzie można nadal użytkować nawet do śmierci technicznej [1].

Czynnik ten zasługuje na uwagę, ponieważ jednym z toksycznych produktów jego spalania jest fosgen – bezbarwny, silnie trujący i duszący gaz, o zapachu świeżo skoszonej trawy lub zgniłych owoców. Nie jest palny, natomiast pod wpływem jego kontaktu z ogniem mogą powstawać: fluorek karbonylu, tlenek węgla, fosgen, chlorowodor, fluorowodor.

W przypadku niezamierzonego uwolnienia fosgenu do środowiska należy przede wszystkim ewakuować obszar. Przy wchodzeniu w obszar należy stosować izolujący aparat oddechowy, chyba że stwierdzono, iż atmosfera jest bezpieczna; zapewnić odpowiednią wentylację oraz w miarę możliwości zatamować wyciek czynnika.

Czysty fosgen w wysokich stężeniach może spowodować uduszenie. Objawy obejmują utratę zdolności ruchowych/przytomności, więc ofiara może nie być świadoma, że się dusi. W niskich stężeniach może wywołać zawroty i bóle głowy, nudności oraz utratę koordynacji. W razie wystąpienia wycieku gazu z instalacji należy niezwłocznie zabezpieczyć się izolującym aparatem oddechowym i przejść do nieskażonego obszaru. W razie kontaktu ze skórą lub oczami natychmiast przemywać je dużą ilością wody przez co najmniej 15 minut, a następnie skontaktować się z lekarzem. W przypadku odmrożenia zraszać wodą przez co najmniej 15 minut i zastosować jałowy opatrunek [15].

Osobę, która wdychała pary czynnika chłodniczego trzeba przenieść na świeże powietrze

⁴ HCFC – organiczne związki chemiczne z grupy freonów, pochodne węglowodorów, w których część atomów wodoru została zastąpiona atomami chloru i fluoru. Są stosowane jako czynniki chłodnicze.

(w skrajnych przypadkach założyć aparat oddechowy lub maskę tlenową) i zapewnić jej ciepło i spokój. Po utracie przytomności należy ułożyć poszkodowanego w wygodnej i bezpiecznej pozycji, nie podawać doustnie żadnych środków oraz wezwać lekarza. Nieregularny oddech lub jego brak wymaga sztucznego oddychania. Nie wolno podawać adrenaliny ani jej pochodnych.

R 717 (amoniak) to naturalny czynnik chłodniczy, który znajduje zastosowanie w przemysłowych instalacjach chłodniczych od ponad 100 lat. Ma bardzo dobre właściwości termodynamiczne. Więcej informacji na temat zagrożeń powodowanych przez amoniak, m.in. w kontekście jego występowania w instalacjach chłodniczych znaleźć można w artykule opublikowanym w „Bezpieczeństwie Pracy” w 2016 r. [16].

Węglowodory – obecnie stosowane czynniki chłodnicze należące do tej grupy to: metan (R 50), propan (R 290), butan (R 600), izobutan (R 600a), etan (R 170), etylen (R 1150) oraz propylen (R 1270). Są one naturalne i ekologiczne, nie wpływają destrukcyjnie na warstwę ozonową, a ich wpływ na tworzenie efektu cieplarnianego jest porównywalny z ditlenkiem węgla.

Mają one bardzo dobre właściwości fizykochemiczne w odniesieniu do możliwości wykrzystania ich w chłodnictwie i ogrzewnictwie. Niestety, po wymieszaniu z powietrzem są palne i wybuchowe (wszystkie należą do grupy bezpieczeństwa A3), ale nie są toksyczne.

Instalacje chłodnicze napełnione węglowodorami muszą być specjalnie zaprojektowane i zabezpieczone. W przypadku małych urządzeń chłodniczych zaleca się, aby pomieszczenie, w których się znajdują było na tyle duże, aby nawet po wycieku całego czynnika nie przekroczyć dolnej granicy wybuchowości w powietrzu (tab. 8.).

Wszystkie węglowodory w kontakcie ze skórą lub oczami mogą powodować odmrożenia. Wdychanie tych substancji przy dużych stężeniach powoduje utratę zdolności poruszania się, a następnie utratę świadomości. Niektóre węglowodory działają znieczulająco oraz powodują halucynacje. Objawy pojawiające się przy ekspozycji na węglowodory to przede wszystkim bóle głowy, mdłości (wymioty).

Urządzenia chłodnicze zawierające węglowodory, wyposażone w sprężarki półhermetyczne, podlegają regulacjom obowiązującym dla miejsc zagrożonych wybuchem sporadycznie i krótkotrwałe (strefa 2 wg dyrektywy 1999/92/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 16 grudnia 1999 r.). Przepisy bezpieczeństwa nakazują instalowanie odpowiednich urządzeń przeciwdziałających nadmiernemu wzrostowi ciśnienia oraz stosowanie specjalnych rozwiązań instalacji elektrycznych [9]. Istotny jest również system wentylacji pomieszczeń, w których mogłoby dojść do powstania mieszaniny wybuchowej.

Podsumowanie

Prawidłowe i regularne serwisowanie urządzeń zawierających substancje zubożające warstwę ozonową w znacznym stopniu ogranicza ich emisję do atmosfery. Dodatkowo serwisowa-

Tabela 8. Granice wybuchowości węglowodorów wykorzystywanych w urządzeniach chłodniczych i pompach ciepła⁵
Table 8. Explosion limits of hydrocarbons used in refrigeration and heat pumps⁵

Czynnik chłodniczy	DGW – dolna granica wybuchowości	GGW – górna granica wybuchowości	Minimalna temperatura zapłonu
R 50	4,4%	17%	537 °C
R 290	2,1%	9,5%	470 °C
R 600	1,9%	8,5%	365 °C
R 600a	1,8%	8,5%	460 °C
R 170	2,4%	16%	515 °C
R 1150	2,4%	32,6%	425 °C
R 1270	2%	10,3%	455 °C

wanie wpływa na poprawną pracę urządzeń, utrzymując wysoką efektywność działania instalacji. Wpływa to bezpośrednio na zużycie energii do napędu urządzenia, co przekłada się na niższą wartość wskaźnika środowiskowego TEWI.

Jak wynika z analiz teoretycznych, jeżeli udałoby się w naszym kraju ograniczyć współczynnik emisji β do poziomu średniej unijnej, przyczyniłoby się to do spadku wartości wskaźnika TEWI w odniesieniu do czynnika chłodniczego R 404A o ok. 26%, a w przypadku czynnika R 600a (izobutan) – aż ok. 52%. Różnica ta wynika z wartości wskaźnika GWP w odniesieniu do poszczególnych czynników (GWP dla R 404A = 3260; GWP dla R 600a = 3). Im niższy wskaźnik GWP, tym większy wpływ współczynnika emisyjności na końcową wartość wskaźnika TEWI.

Parlament Europejski zauważył problem emisji czynników chłodniczych oraz ich degradujący wpływ na środowisko naturalne. Rezolucję przyjętą w tym zakresie dają narzędzia do dokładnej oceny tego zjawiska oraz możliwości jego ograniczenia. W następnych latach należy spodziewać się kolejnych regulacji prawnych Unii Europejskiej dotyczących eksploatacji urządzeń chłodniczych i pomp ciepła.

Obecnie zauważa się powrót do naturalnych czynników chłodniczych. Tendencja ta zaowocowała rozwojem metod detekcji wycieków tych substancji oraz systemów wczesnego ostrzegania przed niebezpiecznym ich stężeniem w powietrzu. Obiekty, w których pracują takie instalacje, wyposażone są w stacjonarne i przenośne wykrywacze gazów niebezpiecznych w powietrzu. Ważną rolę odgrywa również uświadomienie osób postronnych, narażonych na toksyczne działanie naturalnych czynników chłodniczych, np. amoniaku, jakie ryzyko za sobą niesie zbagatelizowanie ostrzeżenia o wycieku.

Syntetyczne czynniki chłodnicze (np. R1234yf) również mogą być źródłem zagrożenia dla zdrowia i życia operatorów i osób postronnych, o czym świadczą wyniki wielu badań wykonywanych przez niezależne jednostki badawcze. Ponieważ są one stosowane od niedawna, nie ma wciąż rzetelnych statystyk, dotyczących związanych z nimi wypadków.

Niezależnie od pochodzenia czynnika chłodniczego, za każdym razem, gdy się z niego korzysta, należy przedsięwziąć najwyższe środki bezpieczeństwa. Rozporządzenie F-gazowe UE nie określa wytycznych dotyczących procedur bezpieczeństwa w obsłudze urządzeń zawie-

rających te substancje. Informacje na temat ich działania na organizm człowieka, granic wybuchowości, palności, postępowania w razie ekspozycji, bądź też w razie konieczności udzielenia pomocy osobom poszkodowanym, możemy znaleźć w kartach charakterystyk czynników chłodniczych, wymaganych przy ich sprzedaży. Informacje dotyczące bezpieczeństwa czynników chłodniczych z grupy węglowodorów można dodatkowo znaleźć w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1907/2006.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://prozon.org.pl/>
- [2] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 842/2006
- [3] *Methods of Calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI)*. The Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating, Best Practices Guidelines 2012
- [4] http://www.covenantofmayors.eu/actions/sustainable-energy-action-plans_en.html data dostępu: 29.09.2016
- [5] Rozprawa doktorska dr inż. Wojciecha Tuchowskiego *Badania eksperymentalne efektywności pompy ciepła wykorzystującej utajone ciepło zamarzania wody*. ZUT, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, październik 2015
- [6] Górski J., Gaziński B., Krzyżaniak G., Warczak W., Targański W., Zółtaniecki A., Gaziński M., Grzegorski M. *Sprężarki chłodnicze – Budowa i zastosowanie*. Pod red. dr inż. Bolesława Gazińskiego, Wydawnictwo SYSTHERM, Poznań 2014
- [7] Polska Norma PN-EN 378-1: 2002 *Instalacje ziębnicze i pompy ciepła. Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska. Część I: Wymagania podstawowe, definicje, klasyfikacja i kryteria wyboru*
- [8] Butrymowicz D., Baj P., Śmierciew K. *Technika Chłodnicza*. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2014
- [9] *Czynniki chłodnicze – Raport*. Wydanie 16. <http://www.schiessl.pl/>
- [10] Material Safety Data Sheet. DuPont™ Opteon™ yf
- [11] <https://www.ihf.com/country-industry-forecasting.html?ID=10659106922>
- [12] <http://www.autoblog.com/2012/09/28/daimler-sounds-alarm-on-new-ac-refrigerant-may-be-flammable/>
- [13] *Survey of the Burning Behaviour of the Refrigerant HFO-1234yf*. Brief Report. DMT GmbH & Co. KG Expert Body for Fire Protection
- [14] *Karta Charakterystyki Tetrafluoropropen (R 1234 yf)*. Linde Gas
- [15] *Karta Charakterystyki Substancji Niebezpiecznej – Chlorodifluorometan, czynnik chłodniczy R22*. Air Products Sp. z o.o.
- [16] Ubowska A. *Amoniak w instalacjach chłodniczych przemysłu rolno-spożywczego*. „Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka” 2016, 532, 1:14-17

⁵ Zgodnie z Kartami Charakterystyki – The Linde Group.